

УДК: 551.594

К ВОПРОСУ О ПРИРОДЕ ЭФФЕКТА ВОСХОДА СОЛНЦА В СУТОЧНЫХ ВАРИАЦИЯХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ АТМОСФЕРЫ НА КАМЧАТКЕ. 2. ЧАСТОТНЫЕ ВАРИАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

© 2013 г. Г. А. Михайлова¹, О. В. Капустина¹, С. Э. Смирнов²

¹ Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН), г. Москва, г. Троицк

² Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, с. Паратунка (Камчатский край)

e-mail: yumikh@izmiran.ru

e-mail: sergey@ikir.kamchatka.ru

Поступила в редакцию 01.08.2011 г.

После доработки 24.09.2012 г.

Исследованы спектры мощности временных вариаций напряженности электрического поля в приземной атмосфере и горизонтальной компоненты геомагнитного поля, наблюдаемых одновременно в обл. “Паратунка” ($\varphi = 52^{\circ}58.3' N$; $\lambda = 158^{\circ}14.9' E$) в сентябре 1999 г. Рассмотрены периоды суток, включающие в себя восход и заход Солнца, а также ночное время. Показано, что в течение суток в спектрах мощности этих параметров присутствуют колебания с периодами $T \sim 2.0\text{--}2.5$ ч. На восходе Солнца в спектрах мощности напряженности поля интенсивность этих колебаний заметно возрастает, и одновременно усиливаются колебания в полосе периодов $T < 1$ ч. Вариации аргумента взаимных спектров этих параметров показали, что колебания в полосе периодов 2.0–2.5 ч вызваны удаленными источниками выше динамо-области ионосферы, а колебания в полосе периодов 0.5–1 ч — источниками в нижней атмосфере. Предложен возможный механизм генерации этих колебаний, связанный с вихревым движением конвективных ячеек, зарождающихся на восходе Солнца в пограничном слое атмосферы.

DOI: 10.7868/S0016794013020120

1. ВВЕДЕНИЕ

Известно, что солнечный терминатор (СТ) является эффективным источником волн в атмосфере Земли (см., например, обзор [Сомских, 1991]). По определению, СТ — это переходная область, разделяющая атмосферу от полной тени до области, освещенной полным диском Солнца. В этой области в результате изменения солнечной радиации возникает горизонтальный градиент температуры и соответственно изменяются другие геофизические параметры (давление, плотность среды). Эта область имеет конечную ширину в пространстве в зависимости от широты, высоты и геофизических условий, а по времени совпадает с периодами восхода и захода Солнца. В результате движения СТ со скоростью вращения Земли происходит генерация атмосферных волн на различных высотах в широком диапазоне периодов. Первоначально они были обнаружены различными радиофизическими методами преимущественно на ионосферных высотах в полосе периодов от нескольких минут до нескольких часов, которые относятся к диапазону акустико — гравитационных волн (АГВ) [Сомских, 1991].

К настоящему времени накоплено много как теоретических, так и экспериментальных результатов изучения эффектов СТ. Наиболее полный обзор современного состояния этой проблемы приведен в обзоре [Сомских, 2012]. К сожалению, в нем слабо представлены работы, посвященные исследованию эффектов СТ в нижней и средней атмосферах. Для средней атмосферы ($h \sim 20\text{--}25$ км) это работа [Антонова и др., 1988], в которой выполнен детальный анализ спектров АГВ, обнаруженных лазерным методом в пространственно-временных вариациях коэффициента обратного рассеяния света. Здесь следует заметить, что лазерный метод, используемый в лидарных установках, позволяет определить распределение по высоте температуры атмосферы, аэрозолей, концентрации озона и др. в стратосфере и верхней тропосфере, т.е. на высотах 15–60 км. Что же касается нижней атмосферы, то в обзоре процитирована всего лишь одна работа [Кузнецов и Чернева, 2008], в которой рассмотрены суточные вариации напряженности электрического поля (НЭП), наблюдаемые в обл. “Паратунка”. В условиях “хорошей погоды” в записях отчетливо проявляется эффект восхода Солнца как бухтообразное возрастание величины НЭП,

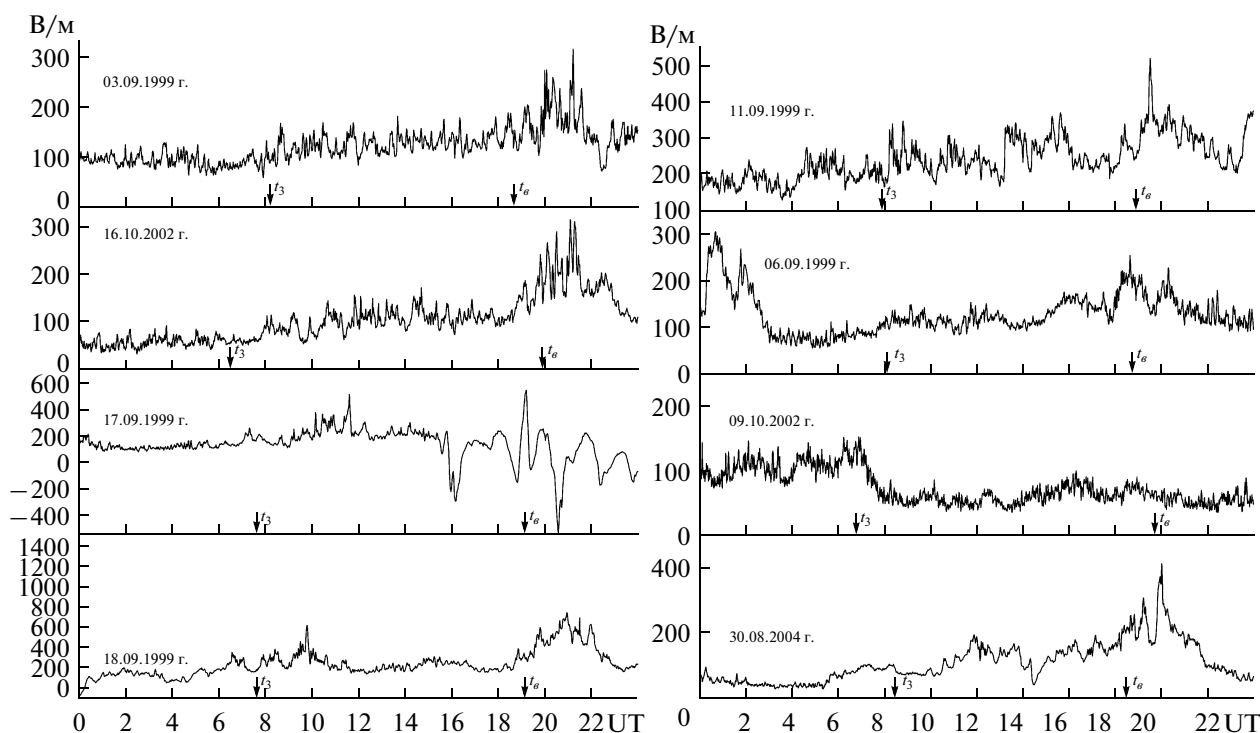


Рис. 1. Суточные вариации напряженности электрического поля в различных геофизических условиях: 03.09.1999 г. и 16.10.2002 г. — условия “хорошей погоды”; 17.09.1999 г. — аномалия накануне землетрясения; 18.09.1999 г. — землетрясение 21:28:33 UT; $\varphi = 51.21^\circ \text{ N}$; $\lambda = 157.56^\circ \text{ E}$; $h = 60 \text{ км}$; $M = 6.0$; 11.09.1999 г. — облачность со слабыми осадками; 06.09.1999 г. — землетрясение 15:04:52.81 UT; $\varphi = 52.10^\circ \text{ N}$; $\lambda = 159.15^\circ \text{ E}$; $h = 33 \text{ км}$; $M = 5.0$; 09.10.2002 г. — сильный порывистый ветер, нижний ярус слоисто-дождевой облачности (~10 баллов), но без осадков; 30.08.2004 г. — землетрясение 12:23:21.60 UT; $\varphi = 49.38^\circ \text{ N}$; $\lambda = 157.42^\circ \text{ E}$; $r = 40 \text{ км}$; $M = 6.0$.

на котором наложены короткопериодные колебания. Визуально, без детального спектрального анализа, авторы оценили их период (~1 ч) и приписали эти колебания действию СТ на высотах ионосферы.

В настоящей работе выполнен детальный спектральный анализ временных вариаций НЭП и вариаций геомагнитного поля с целью определения природы их короткопериодных колебаний, наблюдаемых одновременно в период восхода Солнца. Использованы записи электрического и геомагнитного полей в сентябре 1999 г. в обс. “Паратунка” ($\varphi = 52^\circ 58.3' \text{ N}$; $\lambda = 158^\circ 14.9' \text{ E}$) ИКИР ДВО РАН, где уже более 10 лет ведутся регулярные наблюдения этих геофизических параметров. Эта работа является продолжением исследований эффектов восхода Солнца во временных вариациях напряженности электрического поля в приземной атмосфере на Камчатке, результаты которых опубликованы ранее в работе [Смирнов и др., 2012].

2. ИСХОДНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОД ОБРАБОТКИ

Измерения напряженности электрического поля проводились с помощью прибора “Поле-2”, сиг-

нал с выхода которого с дискретностью по времени 1 мин записывался на жесткий диск персонального компьютера. Одновременно проводились записи метеорологических параметров для выделения так называемых условий “хорошей погоды”, т.е. дней без осадков, гроз, туманов, при скорости ветра менее 6 м/с, при наличии яруса слоисто-кучевых облаков менее двух баллов [Reiter, 1992; РД 52.04..., 2002], а также при слабой геомагнитной ($Kp \leq 4$) и сейсмической ($M < 4$) активностях. На рисунке 1 показаны типичные записи суточных вариаций НЭП, наблюдаемых при различных метеорологических условиях, накануне землетрясений и в условия “хорошей погоды”.

Для комплексной обработки экспериментальных данных, кроме записей НЭП, были использованы также одновременные записи горизонтальной компоненты геомагнитного поля в обсерваториях “Паратунка” (HP) и Barrow ($\varphi = 71.3^\circ \text{ N}$, $\lambda = 203.4^\circ \text{ E}$) (HB) (последние получены из Internet с помощью системы SPIDR(WDC)). В качестве иллюстрации на рис. 2 приведен пример одновременных записей этих параметров для трех дней: (01–03).09.1999.

Метод спектральной обработки показан на примере записи 14.09.1999 (рис. 3) для периода,

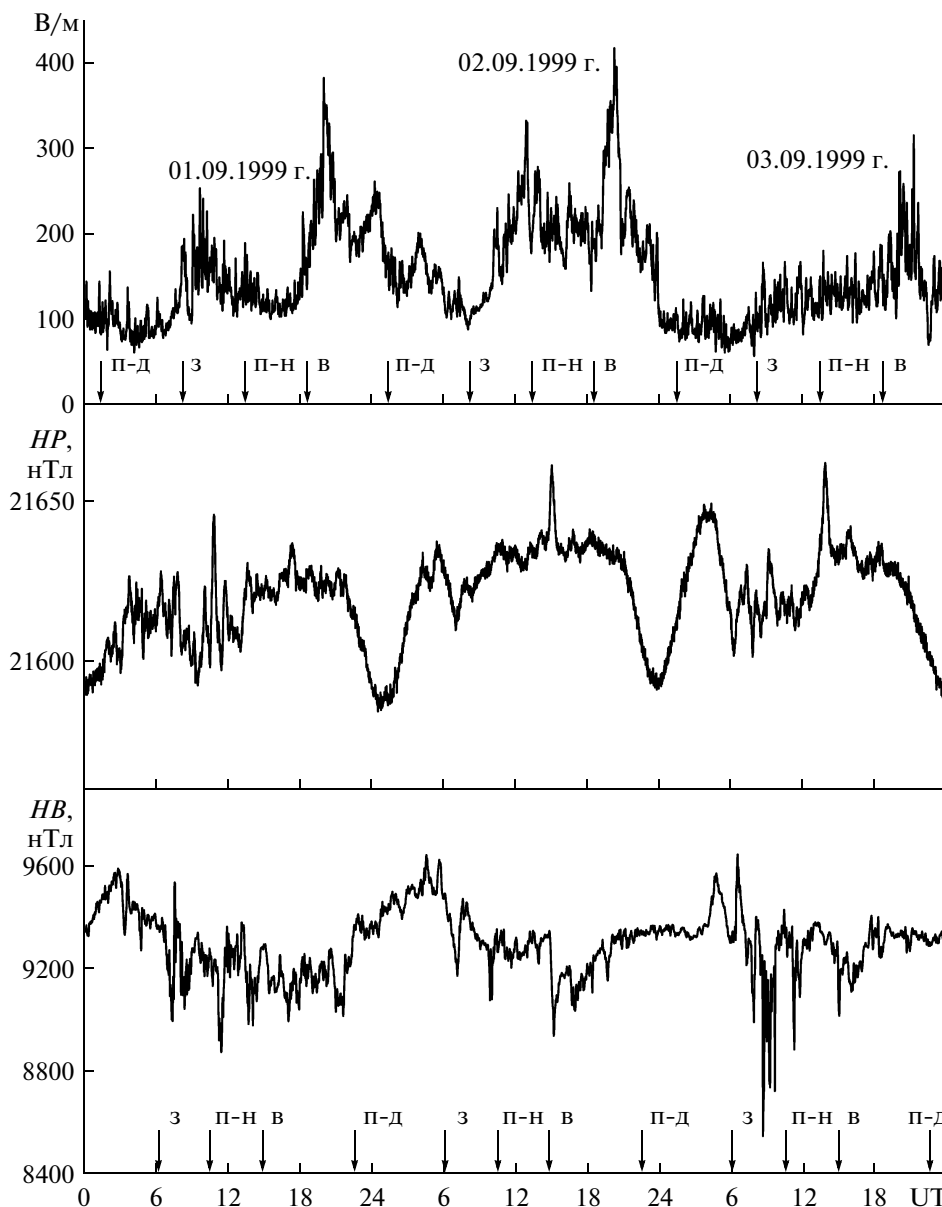


Рис. 2. Пример одновременных записей напряженности электрического поля (E), горизонтальной компоненты геомагнитного поля в обс. “Паратунка” (HP) и в обс. Ватгров (HB) в течение трех дней: 01–03 сентября. На оси абсцисс стрелками указаны времена восхода и захода Солнца, полудня и полуночи.

включающего в себя время восхода Солнца (12–24 UT), и состоял в следующем. Из исходной записи НЭП (a) и HP (b) (фрагмент 1) исключалась величина, равная среднему значению за этот период, и результирующая кривая (фрагмент 2) без потери точности анализа [Харкевич, 1957] дополнялась нулями до 2048 точек. По алгоритму БПФ оценивался амплитудный спектр этой кривой (жирная линия на фрагменте 4 в зависимости от частоты с левой осью ординат и в зависимости от периода $T = 1/f$ слева на фрагменте 5). Далее с помощью фильтра выделялся спектр в полосе пери-

одов 0.5–3 ч (штриховая линия на фрагменте 4 с правой осью ординат и справа на фрагменте 5 в зависимости от периода). Выделенная полоса периодов включает в себя внутренние гравитационные волны (ВГВ). С помощью обратного преобразования Фурье определялась временная зависимость отфильтрованного сигнала (фрагмент 3). Этот сигнал использовался далее для спектральной обработки, а именно, для оценки авто- и взаимной спектральной плотности мощности (для краткости, спектров мощности) в полосе периодов 0.5–3 ч с помощью метода модифицированных периодо-

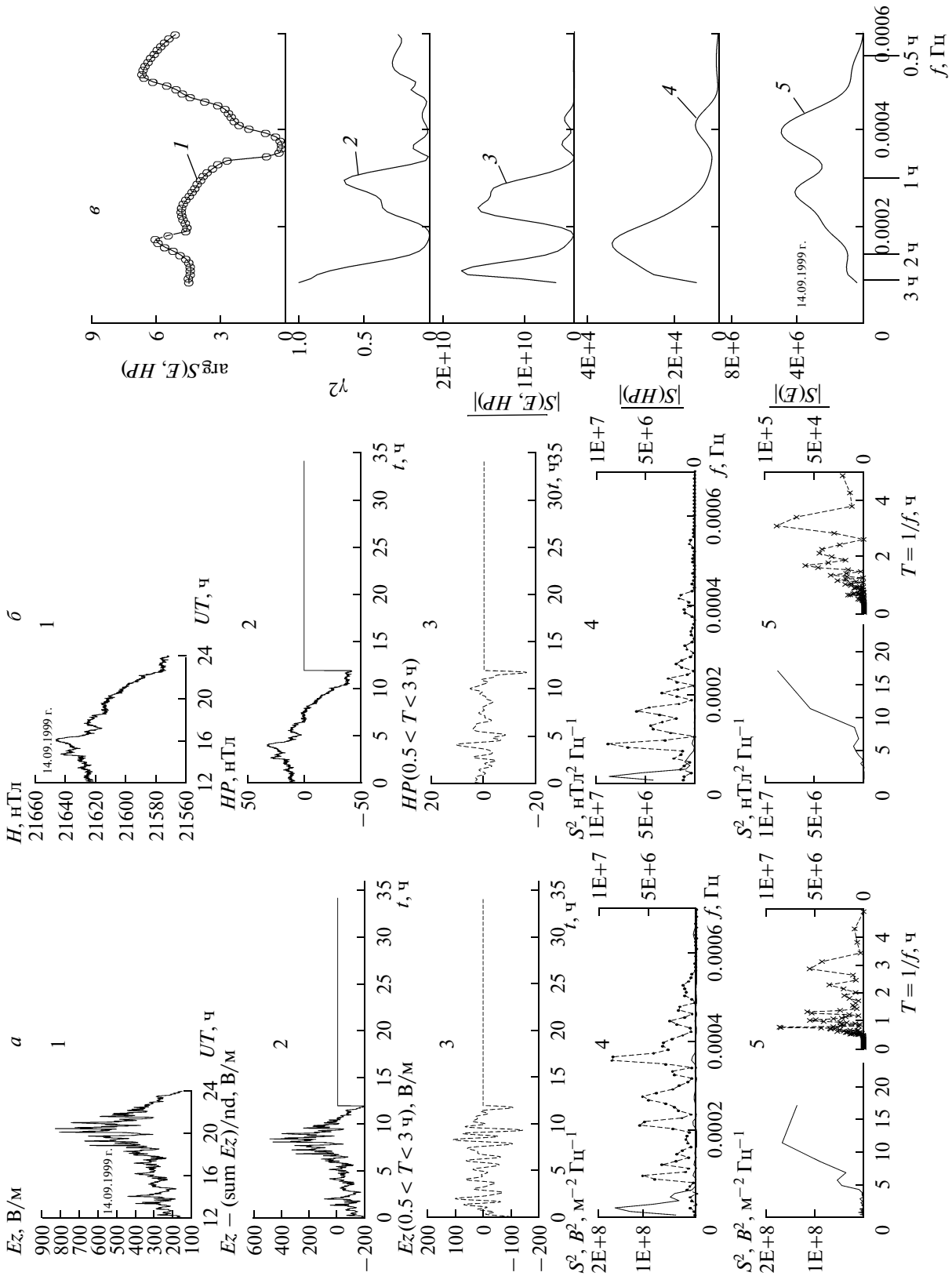


Рис. 3. Пример спектральной обработки одновременных записей напряженности электрического поля (E) и горизонтальной компоненты геомагнитного поля (HP) на интервале времени 12–24 UT, включающем восход Солнца (подробно см. в тексте).

грамм (ММП) [Welch, 1967]. Согласно этому методу, исходная запись разделялась на n коротких сегментов $t_i = 6$ ч (с перекрытием на половину сегмента 3 ч). Для каждого сегмента оценивалась модифицированная периодограмма введением временного “окна” вида $0.5(1 - \cos^2(t/t_i))$ при $0 < t \leq t_i$. Для более детального расчета спектров по частоте на этом интервале t_i использовалась процедура дополнения его нулями до 2048 точек. Результирующий спектр мощности исходной записи определялся путем усреднения спектров, рассчитанных для коротких сегментов. Известно, что ММП при увеличении количества n коротких сегментов при заданной длительности исходной записи уменьшает дисперсию оценки спектра мощности и повышает ее устойчивость, но при этом понижает разрешение спектров по частоте (сравнение спектра фрагмента 5 справа и кривой 5 на рис. 3в). В нашем случае для выделения гармоник с $T \sim 3$ ч t_i было выбрано равным 6 ч, тогда число n на исходной записи длительностью 12 ч равно трем. Для поиска связи между волновыми процессами на различных высотах атмосферы и определения местоположения их источника оценены авто- и взаимные спектры мощности также ММП. Взаимный спектр двух процессов [Бендат и Пирсол, 1989] определяется как $S_{xy}(f) = |S_{xy}(f)| \exp(-j\theta_{xy}(f))$, где модуль $|S_{xy}| = (\text{Re}S_{xy}^2 + \text{Im}S_{xy}^2)^{1/2}$, а аргумент $\theta_{xy} = \arctg(\text{Im}S_{xy}/\text{Re}S_{xy})$. Модуль взаимного спектра характеризует вклад отдельных источников во взаимный процесс, а его аргумент позволяет определить запаздывание или опережение одного волнового процесса относительно другого. В относительных единицах связь двух волновых процессов характеризуется величиной квадрата функции когерентности $\gamma^2(f) = |S_{xy}(f)|^2 / (S_{xx}(f)S_{yy}(f))$. Величина $\gamma^2(f)$ аналогична квадрату нормированной корреляционной функции на данной частоте. Она мала в тех случаях, когда мало отношение полезного сигнала к шуму, когда два процесса между собой не связаны линейно, когда второй процесс (Y) зависит не только от базового процесса (X), но и от других источников [Бендат и Пирсол, 1989]. Пример предложенного метода обработки исходных записей НЭП и HP — компоненты для периода 12–24 UT, включающего момент восхода Солнца, показан на рис. 3в.

В качестве базового процесса X нами приняты вариации НЭП, а в качестве Y — вариации HP и HB . Видно, что в автоспектре $S(E)$ преобладают колебания в полосе периодов $T < 1$ ч и $T \sim 1$ ч, интенсивность которых существенно превышает колебания с $T \sim 2-2.5$ ч. В то же время в автоспектре HP (HP), наоборот, преобладают колебания в полосе периодов $T \sim 2-2.5$ ч со слабо выраженными колебаниями на $T \sim 0.7$ ч. Во взаимном спектре $S(E, HP)$ последние колебания заметно подавлены, и величина когерентности $\gamma^2 \sim 0.1$, что указывает на отсутствие связи волновых процессов в

динамо-области и приземной атмосфере. Следовательно, источник колебаний НЭП сосредоточен в нижней атмосфере.

Два других максимума во взаимном спектре на $T \sim 2-2.5$ ч и $T \sim 1$ ч с коэффициентом когерентности $\gamma^2 \sim 0.9$ и 0.6 , соответственно, указывают на связь процессов в нижней атмосфере и в динамо-области ионосферы. Источник этих колебаний, как следует из характера кривой аргумента взаимного спектра, в первом случае расположен выше динамо-области (аргумент практически постоянен), а во втором случае — в нижней атмосфере (фаза взаимного спектра указывает на запаздывание процесса в динамо-области относительно приземной атмосферы).

3. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Описанный спектральный метод использован для обработки одновременных записей НЭП, HP и HB на восходе, заходе Солнца и для ночных условий. Результирующие авто- и взаимные спектры, усредненные за несколько дней “хорошей погоды” в сентябре 1999 г., приведены на рис. 4: использовано 14 дней на восходе (а), 7 дней на заходе (б) и 12 дней в ночное время (в). Вертикальными отрезками прямых на кривых показаны величины среднеквадратического отклонения (СКО) как корень квадратный из дисперсии оценок. Анализ этих спектров показал следующее:

Мощность ВГВ в авто — $\{S(E), S(HP), S(HB)\}$ и взаимных $\{S(E, HP), S(E, HB)\}$ спектрах сосредоточена преимущественно в полосе периодов 1.5–3 ч с выраженным максимумом на $T \sim 2-2.5$ ч. Наличие этой полосы колебаний во взаимных спектрах $S(E, HP)$ и $S(E, HB)$ с коэффициентами когерентности, изменяющимися от 0.3 до 0.9, указывает на взаимосвязь процессов в нижней атмосфере и на высотах динамо-области, но источник этих волновых процессов, как следует из анализа кривых аргумента взаимных спектров, расположен выше динамо-области. Исключение составляют спектры мощности НЭП (нижняя кривая на рис. 4). Здесь, кроме полосы колебаний вблизи 1.5–2 ч, выделены более слабо выраженные колебания с максимумами на периодах $T \sim 0.8$ и 0.6 ч, которые практически отсутствуют на взаимных спектрах $S(E, HP)$ и $S(E, HB)$. Это указывает на то, что источник этих колебаний сосредоточен в приземной атмосфере, но энергии этих колебаний недостаточно для прохождения на высоты динамо-области ионосферы. Для присутствующего максимума во взаимных спектрах $S(E, HP)$ и $S(E, HB)$ вблизи $T \sim 1$ ч с коэффициентом когерентности, изменяющимся от 0.2 до 0.7, источник колебаний в спектре НЭП определен недостаточно уверенно. Аргумент взаимного спектра изменяется сложным образом (не исключено, что это связано с низким разрешением по частоте ММП) и указывает либо

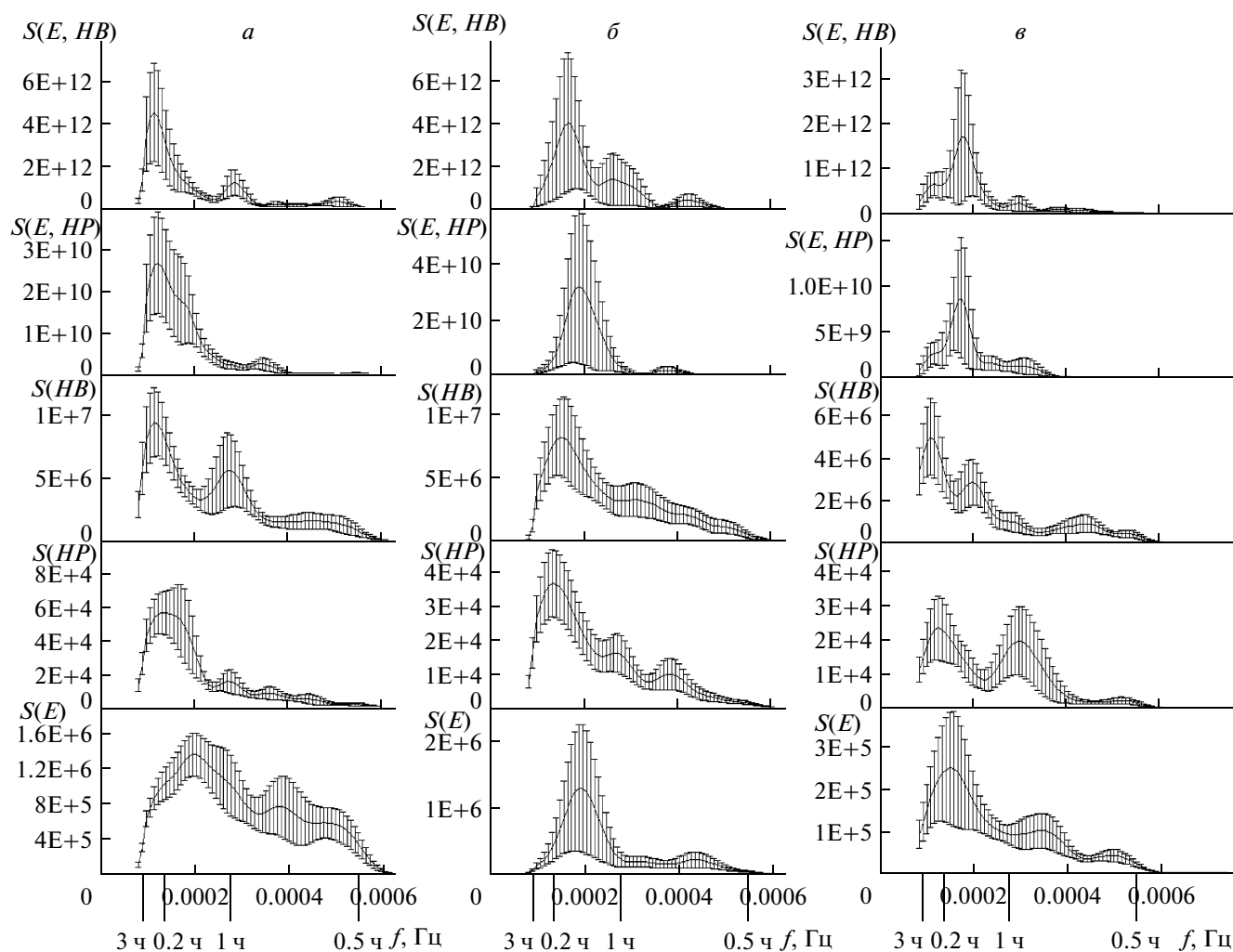


Рис. 4. Средние авто- и взаимные спектры мощности на восходе (а), заходе (б) Солнца и в ночное время (е). Вертикальные отрезки линий на кривых – СКО.

на удаленный источник выше динамо - области, либо на источник в нижней атмосфере.

В ночное время (08–14 UT), когда оптическое излучение Солнца “выключено”, но сохраняется корпускулярное, характер автоспектров НЭП по форме изменяется слабо, но интенсивность выделенных максимумов почти на порядок ниже по сравнению с периодом времени 12–24 ч, особенно на периодах $T \sim 0.6$ и 0.8 ч. В этот период более существенно изменяются автоспектры $S(HP)$ и $S(HB)$, усиливаясь на $T \sim 1$ ч. Возможно, это связано с появлением всплесков суббурь, которые отчетливо видны на временных вариациях горизонтальных компонент геомагнитного поля, особенно на $\varphi = 71^\circ$ N (Varrow) (см. рис. 2).

При заходе Солнца (00–12 UT) в автоспектрах НЭП четко выделен один максимум на $T \sim 1.5$ ч и сильно подавлены колебания на периодах ниже 1 ч. Этот период ближе соответствует дневным условиям в атмосфере, поскольку время полудня

в obs. “Паратунка” приходится на 1.45 UT, а в obs. Varrow – на 22.5 UT (см. рис. 2). После полудня интенсивность солнечной радиации уменьшается, соответственно падает температура воздуха. Как видно на рис. 2, характер временных вариаций НЭП и горизонтальных компонент геомагнитного поля, на $\varphi = 53^\circ$ N и 71° N существенно различаются между собой. Это проявляется и в их авто- и взаимных спектрах. Характер изменения аргумента взаимных спектров $S(E, HP)$ и $S(E, HB)$ показывает, что колебания на $T \sim 2$ – 2.5 ч вызваны удаленным источником, а колебания на $T \sim 1$ – 1.5 ч, присутствующие в автоспектрах $S(HP)$ и $S(HB)$ и отсутствующие в автоспектре НЭП, вызваны источником в динамо-области или выше. Но волны в силу их слабости не проходят в нижнюю атмосферу.

Таким образом, анализ авто- и взаимных спектров мощности НЭП в приземной атмосфере и горизонтальной компоненты геомагнитного по-

ля на $\varphi = 53^\circ \text{ N}$ и 71° N показал, что колебания с $T \sim 2\text{--}2.5$ ч вызваны удаленным источником, а колебания с $T \sim 1$ ч, которые в ночное время и на восходе Солнца обнаруживаются на высотах нижней атмосферы, возможно, вызваны источником в динамо-области или выше. Что же касается колебаний с периодами $T < 1$ ч, обнаруженных только в нижней атмосфере, то они слабо проникают на высоты динамо-области.

Присутствие постоянного источника непрерывной генерации атмосферных гравитационных волн на полярных широтах было обнаружено в измерениях концентраций нейтральных газов [O] и [N₂] на спутнике DE-2 [Лизунов и Скороход, 2010]. Действительно, в вариациях горизонтальной компоненты в obs. Waгgow эти колебания более интенсивны (см. рис. 2), чем в obs. "Паратунка".

4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Таким образом, эффект восхода Солнца в суточных вариациях НЭП проявляется в расширении спектра мощности в область более коротких периодов ($T < 1$ ч) со значительным ослаблением этих колебаний в вечернее и ночное время. Этот эффект слабо выражен в авто-спектрах *HP* и *HV* и во взаимных спектрах НЭП и геомагнитного поля на широтах 53° N и 71° N , что указывает на слабое прохождение ВГВ на восходе на высоты динамо-области. Вместе с тем в авто- и взаимных спектрах рассмотренных параметров в течение суток постоянно наблюдаются колебания в полосе $T \sim 2\text{--}2.5$ ч, интенсивность которых максимальна в период восхода Солнца. Эти колебания наблюдались ранее в квазипериодических вариациях других геофизических параметров, например, во флуктуациях атмосферного давления, а также на высотах *D*- и динамо-областей ионосферы [Михайлов и др., 2008а, б]. Возможно, эти колебания обусловлены глобальными колебаниями Солнца, которые могут воздействовать на атмосферу Земли через соответствующие колебания солнечного излучения как в оптическом, так и корпускулярном потоке. Наличие таких колебаний Солнца как сферы с $T \sim 160$ мин действительно было обнаружено сравнительно давно [Северный, 1983]. В данной работе показано их усиление на восходе Солнца.

Колебания в спектрах мощности рассмотренных параметров вблизи периода $T \sim 1.5$ ч, как показано в работе, обусловлены источниками либо в динамо-области, либо выше нее. Возможно, как показано в работе [Александров и др., 1992], эти колебания обусловлены собственными радиальными колебаниями ионосферы, которые, по оценкам авторов, составляют величины $T \sim 85.8$ мин (*D*-область), 86.8 мин (*E*-область), 87.6 мин (*F1*-область) и 89.5 мин (*F2*-область). Эти колебания проявляются в периодических сжатиях и расширениях

всей толщи газа и выражаются в изменении его плотности, давления и температуры.

Колебания в спектрах мощности НЭП в полосе периодов $T < 1$ ч включают в себя диапазон собственных колебаний Земли, $T \sim 57$ мин [Гармаш и др., 1989]. Эти колебания в вариациях НЭП на Камчатке, которые усиливались в период подготовки землетрясения, ранее были обнаружены в работе [Михайлов и др., 2008б]. Более того, было показано, что усиленные ВГВ способны распространяться до высот *D*- и динамо-областей, но только при сильных землетрясениях (с магнитудой $M \geq 6$). В этой связи представляло интерес сопоставить интенсивности ВГВ на восходе Солнца и накануне землетрясения. Для этой цели выбраны три землетрясения, произошедшие на Камчатке в сентябре 1999 г. на расстояниях $r \sim 150\text{--}250$ км от obs. "Паратунка". На верхнем фрагменте рис. 5 приведены суточные вариации НЭП накануне этих землетрясений. Видно, что аномалии НЭП, связанные с землетрясениями, по времени совпадают с периодами восхода Солнца (см. рис. 1, $t_b \sim 18.7\text{--}19$ UT). А их индивидуальные автоспектры, приведенные на нижнем фрагменте рисунка вместе со средним автоспектром на восходе Солнца, по форме близко совпадают между собой. А именно, во всех спектрах присутствуют преобладающий максимум в полосе периодов $2\text{--}2.5$ ч и дополнительные менее интенсивные максимумы на периодах $T \leq 1$ ч. По интенсивности эти максимумы одного порядка по величине для случая восхода и землетрясений с магнитудой $M < 6$ (левая шкала), энергия которых, как показано в работе [Михайлов и др., 2008б], оказалась недостаточной для прохождения до высот динамо-области. Этот результат позволяет сделать вывод, что колебания ВГВ, возбуждаемые на восходе Солнца в нижней атмосфере, также не могут проникать выше. Этот факт подтверждается отсутствием колебаний в спектрах геомагнитного поля, наблюдаемых на восходе в обсерваториях "Паратунка" и Waгgow. На наш взгляд, источник этих колебаний в нижней атмосфере связан с вариациями метеорологических параметров на восходе Солнца, т.е. с изменением температуры и соответственно давления атмосферы в результате их модуляции вариациями солнечной радиации. Полученный в работе результат не совпадает с выводами работы [Кузнецов и Чернева, 2008]. Выделенные нами колебания на периодах менее 1 ч, вероятно, могут генерироваться вихревым движением зарождающихся конвективных ячеек, переносящих объемные заряды вверх в пограничном слое атмосферы при увеличении температуры воздуха на восходе Солнца. Но возможны и другие источники этих колебаний.

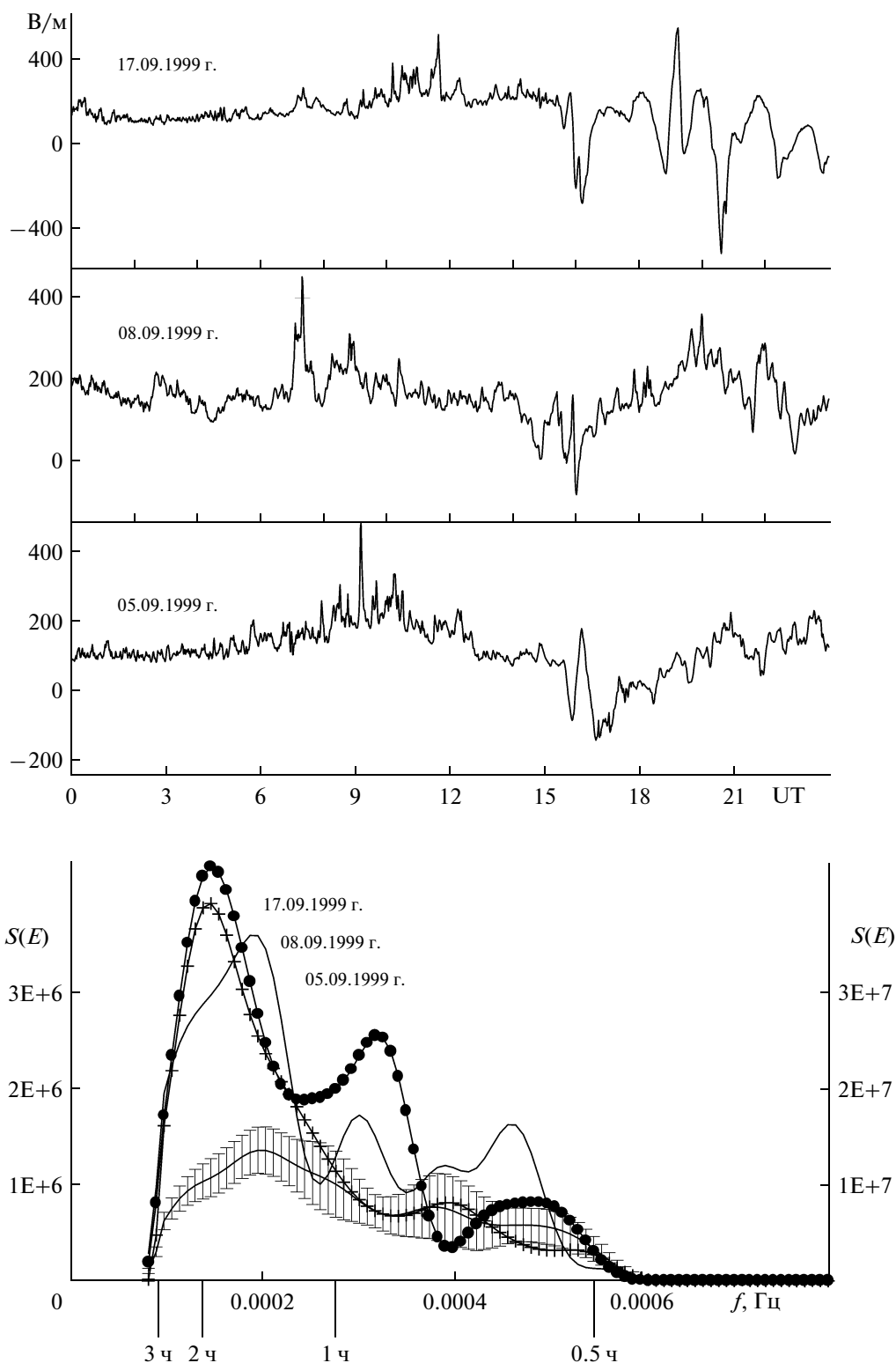


Рис. 5. Суточные вариации напряженности электрического поля с аномалией накануне землетрясений: 06.09.1999 15:04:52.81 UT; $\varphi = 52.10^\circ \text{ N}$; $\lambda = 159.15^\circ \text{ E}$; $r = 55 \text{ км}$; $M = 5.0$
 09.09.1999 14:02:01.59 UT; $\varphi = 47.51^\circ \text{ N}$; $\lambda = 154.33^\circ \text{ E}$; $r = 33 \text{ км}$; $M = 5.6$
 18.09.1999 21:28:33.17 UT; $\varphi = 51.21^\circ \text{ N}$; $\lambda = 157.56^\circ \text{ E}$; $r = 60 \text{ км}$; $M = 6.0$ (верхний фрагмент) и их автоспектры вместе с усредненным автоспектром в периоды с восходом Солнца (нижний фрагмент). Правая ось ординат относится только к кривой 17.09.1999 г.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На восходе Солнца в спектрах мощности напряженности квазистатического электрического поля в приземной атмосфере на Камчатке (обс. “Паратунка”) обнаружено следующее:

1. Усиление интенсивности колебаний в полосе периодов 2–2.5 ч.

2. Усиление колебаний в полосе периодов $T < 1$ ч, интенсивность которых соизмерима с интенсивностью ВГВ накануне слабых землетрясений с магнитудой $M < 6$, недостаточна для прохождения на высоты динамо - области ионосферы.

3. Вариации аргумента взаимных спектров напряженности электрического поля и вариаций горизонтальной компоненты геомагнитного поля, одновременно наблюдаемых в обсерваториях “Паратунка” и Ваггов, позволили установить местоположение источников этих колебаний, а именно, в нижней атмосфере.

4. Одним из возможных источников этих колебаний могут быть вихревые движения зарождающихся конвективных ячеек в пограничном слое атмосферы, переносящие объемные заряды вверх при увеличении температуры воздуха на восходе Солнца. Но возможны и другие источники этих колебаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Александров А.В., Бычков В.С., Ларин И.А., Комков И.В. Колебания переменного магнитного поля Земли с периодом около 1.5 ч // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 32. № 3. С. 119–124. 1992.
- Антонова В.П., Гусейнов Ш.Ш., Дробжев В.И. и др. Комплексное экспериментальное исследование волн в атмосфере, генерируемых солнечным терминатором // Изв. АН СССР. ФАО. Т. 24. № 2. С. 134–143. 1988.
- Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализа случайных данных. М.: Мир. 540 с. 1989.
- Гармаш С.В., Линьков Е.М., Петрова Л.Н., Швец Г.М. Возбуждение колебаний атмосферы сейсмогравитационными колебаниями Земли // Изв. АН СССР. ФАО. Т. 25. № 12. С. 1290–1299. 1989.
- Кузнецов В.В., Чернева Н.В. Исследование Форбуш-понижений и эффектов терминатора в атмосферном электрическом поле на обсерватории “Паратунка” (Камчатка) // Вест. КАУНУ. Науки о Земле. Вып. 11. № 1. С. 89–97. 2008.
- Лизунов Г.В., Скороход Т.В. Планетарное распределение среднемасштабных атмосферных гравитационных волн по данным спутниковых измерений // Космічна наука і технологія. Т. 16. № 1. С. 40–45. 2010.
- РД 52.04. 168-2001. Методические указания. Наблюдения за электрическим полем. С.-Петербург: Гидрометеоздат. С. 23. 2002.
- Михайлов Ю.М., Михайлова Г.А., Капустина О.В. Спектры атмосферных волн в динамо-области ионосферы на Камчатке // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 48. № 1. С. 122–128. 2008а.
- Михайлов Ю.М., Михайлова Г.А., Капустина О.В., Дружин Г.И., Смирнов С.Э. Прохождение внутренних гравитационных волн на высоты D- и динамо-областей ионосферы в сейсмически активном регионе (Камчатка): Предварительные результаты // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 48. № 2. С. 1–9. 2008б.
- Северный А.Б. Гелиосейсмология // Земля и Вселенная. № 3. С. 9–14. 1983.
- Смирнов С.Э., Михайлова Г.А., Капустина О.В. К вопросу о природе эффекта восхода Солнца в суточных вариациях напряженности электрического поля на Камчатке. I. Временные вариации градиента потенциала электрического поля // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 52. № 4. С. 535–540. 2012.
- Сомсиков В.М. Волны в атмосфере, обусловленные солнечным терминатором (обзор) // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 31. № 1. С. 1–12. 1991.
- Сомсиков В.М. Солнечный терминатор и динамические явления в атмосфере // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 51. № 6. С. 723–735. 2011.
- Харкевич А.А. Спектры и анализ. М.: Госиздат технико-теоретической литературы. 236 с. 1957.
- Reiter R. Phenomena in atmospheric and environmental electricity. Elsevier. Amsterdam-London-New York-Tokio. P. 103. 1992.
- Welch P.D. The use of fast Fourier transform for the estimation of power spectra: a method based on time averaging over short modified periodograms // IEEE Trans. Audio and Electroacoustics. V.AU-15. № 2. P. 70–75. 1967.